氣候變遷與植物病害消長

鄧汀欽 [1,4]　安寶貞 [1]　鄭櫻慧 [1]　林子凱 [2]　蔣國司 [3]

[1] 農業委員會農業試驗所植物病理組
[2] 農業委員會農業試驗所作物組
[3] 國立中興大學農藝系
[4] 通訊作者:Email: tcde@tari.gov.tw, Fax: 04-23302803

摘要

氣候變遷直接衝擊全球農業生態系，也影響到台灣各種作物的病害生態，以流行病學觀點來檢討極端氣候及地球暖化對植物病害消長的影響。颱風或強降雨可助病原散佈，且受災植物因有傷口或生長勢弱，極易被病原感染，因此台灣常見炭疽病、細菌性軟腐病、萎凋病、晚疫病、水稻白葉枯病、柑橘潰瘍病、或病毒病在風雨後爆發疫情。氣候暖化會增加作物產量，但也誘導更多或更新的有害生物入侵造成損失，如紅龍果引進台灣後崛起的各項病害及馬鈴薯晚疫病耐熱菌系強勢流行，唯番茄斑萎病毒局限分佈於高冷地區。氣候變遷使農作病害生態系中的寄主、病媒、病原及其棲地發生變化，因而影響植物病害消長，可見於台灣瓜類病毒病害的流行趨勢演變。因應氣候變遷，未來作物病害管理應著重於：(1)預測及監測病原隨寄主遷移而改變的地理分佈、(2)掌控病原崛起的病害生態、(3)體會現有病害管理策略的極限和管理失策可能造成的損失、及(4)開發有效的健康管理策略以調適新環境。在作物育種則需先瞭解：(1)氣候因素所影響寄主與病原互動的各項反應、(2)病原發生時期與傳播速率可能的改變、(3)寄主原有的抗病性消失的情形與原因、(4)新病原或菌系崛起的情形與原因、(5)目前農事操作過程可能誘導新病原或菌系崛起的機會、及(6)作物抗逆境及抗病基因的機制與種原資料。

前言

人類活動排放的二氧化碳等溫室氣體造成全球暖化已非預言，海平面上升讓人觸目驚心，近年來已感受到不合節令且驟變的天氣、強風、豪雨、乾旱、熱浪等發生更頻繁、更嚴重。中央氣象局 2011 年數據顯示台灣近百年 (1897－2008 年)，平地平均氣溫上升 0.9－1.2 ℃，表示等溫線已北移約 100 km；山區增溫 0.6 ℃，表示生物生存環境的臨界高度已升高約 100 m (http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/statistics/statistics_2_1.html)。預測未來地球日趨暖化且逐年加速，海平面持續增高，熱的天數及熱指數將增高，結霜日及日夜溫差將減少，嚴重的極端天候事件如豪雨、乾旱、颱風等發生頻率更升高 (Smith *et al.*, 2001)。氣候變遷直接衝擊全球農業生態系，也影響到本地各種作物病蟲害的消長，改變以往植物病害的傳播規模與流行分佈，同時極可能有新型病害崛起，屆時若植物防疫工作措手不及將影響到作物生產及糧食安全。目前臺灣尚無植物流行病學對氣候變遷因應的相關研究資料，但在醫學上經分析確認臺灣地區氣溫提升或春季增溫，與蟲媒傳染病如登革熱、日本腦炎、恙蟲病等，或接觸傳染病猩紅熱等每年提前流行或病例增加具有顯著相關性 (郭浩然，2006)。颱風過後猩紅熱、阿米巴痢疾、登革熱、傷寒及腸病毒感染併發重症之發生風險亦有明顯的增加 (黃志隆，2008)。本文謹就氣候變遷可能與本地植物流行病學有關的事例提出討論，以便檢討現有的育種及病害管理策略，以調適未來的環境。

臺灣氣候與作物病害生態

北迴歸線 (Tropical of Cancer 23°26’16” N)橫貫台灣嘉義及花蓮縣境，其南屬熱帶(Tropical)，日照充足且四季氣溫變化較小，其北則屬亞熱帶(Subtropical)；中央山脈縱隔全島，造成東西部各異的天氣變化，另外從海平面到山巔約 4000 m 的垂直距離，造成多樣性的地區氣候。臺灣冬季有來自西伯利亞的大陸冷高壓，吹東北季風，迎風面才有下雨的機會；春季的天氣系統主要是鋒面；夏季受太平洋高壓影響，盛行西南風，潮濕的西南氣流常會引起豪大雨。正常的雨季是二到四月的春雨、五到六月的梅雨、及七月至九月的颱風雨，這些雨就是臺灣的水資源(http://cwb.hinet.net/V7/climate/climate_info/statistics/statistics_1_1.html)。以往農民順應各種時空變化的氣象條件，依節氣進行農耕，造就了台灣各地多樣化的農業生態環境，四季綿延不絕的各種作物生產中，病害生態複雜且經常有特殊疫情爆發作，但經適當的防疫處理，終能趨於平衡。以過去植物流行病學調查的結果來檢討病原的發生(Occurrence)、崛起(Emergence)、復發(Resurgence)、流行(Prevalence)、及分佈(Distribution)等現象來闡明氣候變遷與植物病害的消長，有以下數例。

颱風及強降雨後發生風險增高的病害

氣流、水流或雨水飛濺會助病原散佈(Fitt *et al.*, 1989)，強風或豪雨氾濫使病原快速大面積擴散(圖 1a)。颱風中植物體受強風吹襲所造成的機械傷口，或驟雨中溺水所造成的生理衰弱，使植物體極易被病原感染。風雨後轉晴之際，溫度和濕度急速升高，更有利於病害發展，尤其是烈日曝曬下的田間，受害植株的病徵很快就呈現出來。因

此經常可見水稻白葉枯病、稻熱病、紋枯病或胡麻葉枯病等在災後爆發較嚴重的疫情。蔬菜類更禁不起風雨摧殘，風雨後葉菜類容易發生的病害有軟腐病、黑腐病、青枯病、露菌病、疫病及白銹病等；瓜菜類有疫病(圖 1b)、露菌病、炭疽病(圖 1b)、細菌性斑點病及果斑病等；果菜類有青枯病、疫病、軟腐病及細菌性斑點病等；根莖菜類有疫病、軟腐病、青枯病及黑腐病等。淹水的蝴蝶蘭園則普遍爆發疫病、軟腐病、黃葉病及褐斑病等疫情。果樹類因迎風面較大受風雨影響最大，颱風後須加強管理的病害包括：香蕉有黃葉病、黑星病、葉斑病、嵌紋病及萎縮病等；蓮霧有炭疽病、疫病及果腐病等；木瓜有果疫病、黑腐病、輪點病、畸葉嵌紋病、炭疽病及蒂腐病等；及柑橘潰瘍病等 (謝廷芳等，2009) 。其中病毒病媒介蟲在颱風或強降雨中棲群密度會降低，但一般網室設施因風災破損不及彌補，讓病毒全面入侵，以木瓜輪點病毒(*Papaya ringspot virus*, PRSV)藉蚜蟲媒介入侵木瓜園之例最常見。

隨熱帶植物引進後崛起的病害

台灣氣候日趨暖化，引進的熱帶植物多能立足，並逐漸往北擴散形成一項全國產業。如紅龍果(Hylocereus sp.)引進後，農糧署 2011 年估計面積已達 827 公頃(http://www.afa.gov.tw/GrainStatistics_index.asp?CatID=52)，隨著栽培面積增加，本世紀開始有新病害的發生記錄，病毒病有 *Cactus virus* X (CVX) (Liou *et al*., 2001)、 *Zygocactus virus X* (ZVX) (毛青樺等，2008)、及 Pitaya virus X (PiVX) (Li *et al*., 2010)等三種；果實病害包括:炭疽病 (*Colletotrichum gloeosporioides*; *C. capsici* 及 *C. boninense* 等引起)、溼腐病或軟腐病 (*Rhizopus stolonifer* 引起)、*Diaporthe/Phomopsis* complex (至少有 3~5 種 species)與 *Alternaria alternata* 引起的果腐病，及 *Penicilium citrinum* 引起的果實青黴病(蔡志濃等，2011)。另有 *Bipolaris cactivora* (Petr.) Alcorn 也是引起果腐病(王智立、林正忠，2005)。其中 CVX 之前已存在於仙人掌，而 ZVX 及 PiVX 是因紅龍果廣泛栽培後才被分離鑑定出來。另一種近年引進的熱帶植物－諾麗果(*Morida citrifolia* L.)雖然引進較晚，種植面積不大，也逐漸往北部擴散栽培，目前在台灣栽培的諾麗果沒有觀察到植株上的病害，也尚無任何疫情發生的報告。

馬鈴薯與番茄晚疫病菌之演變

台灣自 1908 年即有晚疫病記載(Kawakami & Suzuki, 1908)，病原爲 P*hytophthora infestans* deBary，當時的菌系爲 US1 (A1 配對型)，爲害馬鈴薯與番茄不嚴重，僅在夏季零星發生於高冷地區；而冬季則發生於東北部多雨地區，平地則數年偶而發生一次。主要原因是本土晚疫病菌性喜冷涼潮濕氣候，生長最高溫度爲 24℃ ，台灣大部分地區

不適合晚疫病發生。早年馬鈴薯產區主要分布於台中后里一帶，少部份在雲林斗南地區，由於多年來一直採行健康種苗制度，並禁止種薯進口，馬鈴薯產業一直相安無事。直到 1997 年 12 月中下旬，后里冬季裡作馬鈴薯田爆發了大規模晚疫病，薯田無一倖免，罹病田區如火燒過一般（圖 2），疫情迅速向外擴展，一個月後斗南馬鈴薯田亦傳出災情，導致該年馬鈴薯的產量約減少一半。同時，各地番茄田亦傳出嚴重災情，在翌年春天就蔓延至東部地區，直到清明過後，天氣回暖，病害才逐漸減弱消失。從此以後，平地馬鈴薯與蕃茄在冬春季便經常發生晚疫病，只要一遇到連續數日降雨或起霧，病菌就肆虐發生，未及時防治的田區便嚴重受害。而 1997 年的事件也造成我國馬鈴薯產業的遷徙，目前冬季馬鈴薯主產區已南移至斗南一帶。由於南部氣候較溫暖，疫情較后里地區輕緩，病害大部分發生於春節前後的濕冷日子裡。目前已經證實病害發生係因強毒性菌株 US11 入侵之結果(Jyan *et al.*, 2004)，該菌系仍爲 A1 配對型，但致病性強、生長快速 (於最適溫 20℃時，新菌系直線生長速率平均爲 5.15 mm、舊菌系 US1 爲 2.68 mm)、耐高溫 (新菌系最高生長溫度 27-29℃、舊菌系 24-25℃)、及抗多種化學農藥 (滅達樂對新菌系菌絲生長抑制濃度(LD50)爲 200-400 ppm、舊菌系爲 0.005-0.001 ppm，抗藥性提高 4-40 萬倍)。目前新菌系幾乎已完全取代了舊有菌系。

番茄斑萎病毒(TSWV)在甜椒之發生

甜椒夏季種植於台灣中海拔地區，秋冬季則於中、南部平地栽培較多。番茄斑萎病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)是 Tospovirus 屬的代表型病毒，田間可經薊馬或機械傳播(Best, 1968)。在台灣可以媒介傳播 Tospovirus 的薊馬有 5 種，甜椒上以南黃薊馬(*Thrips palmi* Karny)發生率最高。南黃薊馬發生最適溫度爲 25-30℃，超過 35℃時，卵至成蟲的存活率只有 4-8%（黃莉欣、陳秋男，2004）。TSWV 於 2009 年首次在南投縣仁愛鄉被發現，約一半甜椒露天栽培區在種植 1 個月左右即超過 10%的植株發病，罹病株的上位葉黃化，有壞疽斑，接著引起植株萎凋(圖 3)，經診斷鑑定係由 TSWV 引起。調查高冷地區包括南投縣仁愛鄉(露天栽培)及信義鄉(設施栽培)的甜椒植株感染 TSWV 的情形，並以埔里鎮(平地設施栽培)爲對照，結果如表 1。2009 年在仁愛鄉測到 TSWV 感染率達 86.8%，推估其發生率約爲 17%；信義鄉測到 TSWV 感染率爲 36.1%，計算缺株估計其發生率低於 3%，埔里鎮測到 TSWV 的比率介於 0-4.6%之間。2010 年仁愛鄉樣本檢出 TSWV 的比率降至 32%，田區感染比率在 5%以下，信義鄉與埔里鎮的樣本則未測到 TSWV。試驗觀察網室設施栽培雖未能隔離薊馬，但網室內溫度較高，不利於薊馬生長，因此降低病毒媒介感染。2009 年仁愛鄉先在海拔 1200-1500 m 栽培區大量發生，9 月後，1200 公尺以下栽培區發病率逐漸升高，可能亦與栽培區最高溫

逐漸下降有關。仁愛鄉 TSWV 感染率自 2009 年的 17%降至 2010 年的 5%以下，可能因爲 2009 年 5 月至 9 月，除了 8 月莫拉克颱風期間的豪雨之外，其間的降雨量都遠低於平均值，降雨少使薊馬密度升高，而導致斑萎病大量發生。2010 年 6-7 月甜椒生長期雨量正常（400-500 毫米/月），薊馬密度降低，使斑萎病發生率降低。

瓜類病毒病長期流行趨勢演變

台灣各地都有瓜類栽培且週年都有生產，時間與空間互相重疊或銜接的結果，使得瓜類病毒病流行不絕，爲生產體系中的限制因子。現有紀錄感染台灣瓜類的病毒有 16 種，包括蚜蟲傳播的甜菜西方黃化病毒(*Beet western yellows virus*, BWYV)、瓜類蚜媒黃化病毒 (*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV)、胡瓜嵌紋病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV)、甜瓜蚜媒黃化病毒 (*Melon aphid-borne yellows virus*, MABYV)、甜瓜脈綠嵌紋病毒 (*Melon vein-banding mosaic virus*, MVbMV)、木瓜輪點病毒(*Papaya ringspot virus*, PRSV)、絲瓜蚜媒黃化病毒(*Suakwa aphid-borne yellows virus*, SABYV)、矮南瓜黃化嵌紋病毒 (*Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV)；薊馬傳播的海芋黃斑病毒(*Calla lily chlorotic spot virus*, CCSV)、甜瓜黃斑病毒 (*Melon yellow spot virus*, MYSV)、番茄斑點萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)、西瓜銀斑紋病毒 (*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV)；粉蝨傳播的瓜類退綠黃化病毒 (*Cucurbit chlorotic yellows virus*, CCYV) 、南瓜捲葉菲律賓病毒 (*Squash leaf curl Philippine virus*, SLCuPV)、番茄捲葉新德里病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV)，及種子傳播的胡瓜綠斑嵌紋病毒 (*Cucumber green mottle mosaic virus*, CGMMV)。其中 CGMMV、CMV、MVbMV、MYSV、PRSV、ToLCNDV、及 ZYMV 還可經由病株汁液傳播(鄧汀欽， 2011)。台灣自 1944 年即有瓜類病毒病害記錄，最近的報告顯示，蚜蟲媒介傳播的病毒一直都是瓜類作物上主要的流行病毒(Peng *et al*., 2011)，1990s 年代南黃薊馬以永續型方式傳播的 tospoviruses 崛起，WSMoV 及 MYSV 陸續成爲主流病毒(Peng *et al*., 2011)。銀葉粉蝨(*Bemisia argentifolii*)入侵立足台灣後，begomoviruses 靠其媒介傳播感染瓜類，其中 SLCuPV 爲 2008 年以來造成洋香瓜絕產的流行病毒(廖吉彥等，2009)。2009 年中爆發另一粉蝨傳播的病毒-CCYV(曾獻嫺等，2009)，短期內台灣各種瓜類皆受其感染。但 2011 年初由於連續低溫，開春較晚，粉蝨密度低，病毒病疫情得以稍緩，但隨著夏季氣溫升高，二期作的瓜類幾乎無一倖免(圖 4)，CCYV 仍是目前流行的強勢病毒種。

結 論

氣候變遷對植物病害的消長之影響前人研究有限，若有也僅是探討單一環境因子

或氣象變因對寄主、病原、或寄主與病原互動的影響 (Djurle *et al*., 1996; Hibberd *et al*., 1996; Kobayashi *et al*., 2006; Narváez *et al*., 2010)，而實際田間的複雜性與不確定性更甚於報告中的狀況(Garrett et al., 2011)。迎向未來的環境，目前應發展較新的監測技術與模式推演程式，因地制宜來描述氣候變遷將會造成作物病害的流行情形、分列估算各項作物的損失程度、及對自然生態與社會經濟的衝擊力，藉以預先研擬因應對策略(Magarey, 2007; Savary et al., 2011)。

溫帶寒帶地區在氣候暖化後，因最低溫提升可增加作物產量 (Nicholls, 1997)，但是在熱帶農業環境的溫度一旦超過該作物耐熱的極限就有致死效應，使產量急速減少(Schlenkera & Roberts, 2009) ，因此全球暖化後適合農耕的區域勢必往兩極遷移(Shaw & Osborne, 2011)。寄主植物遷移至新環境也將燃起新的寄主－病原組合，其疫情發生的早晚端視病原與寄主對新環境生態的適應性、初感染源(primary inocula)越冬或越夏的跨季存活力、及病原的傳播擴散效率。以台灣引進的熱帶植物紅龍果與諾麗果爲例，紅龍果在台灣發生的病害種類與嚴重程度已勝過東南亞原產地，而目前諾麗果則無任何疫情傳出。事實上在太平洋原產地諾麗果也會感染根瘤線蟲 (*Meloidogyne spp*.)、葉斑病(*Colletotrichum sp*.)、疫病(*Phytophthora sp*.)、及果腐病(*Sclerotium rolfsii*) (Nelson, 2006)，這些病原早已存在於台灣，因此在適當時機可預期其將發生。雖然無數據直接顯示氣候變遷對新病原或新菌系崛起的影響，但環境篩選與病原演化的結果確實影響植物病害消長，以晚疫病菌 *P. infestans* 爲例，其好發於冷涼潮濕氣候，但因新菌系致病性強、生長快、耐高溫、及抗多種化學農藥，更能適應氣候環境，目前新菌系在田間已普遍取代了舊菌系。另以 TSWV 爲例，雖然 TSWV 在溫帶地區極其猖獗，但在台灣目前其分佈局限於高冷地區，因其媒介薊馬或病毒本身都不耐高溫，未來氣候繼續暖化，除非演化出耐熱的病毒系統(strain)，推測 TSWV 在台灣平地流行的機會不大。長期觀察台灣瓜類病毒的流行趨勢演變，顯示病毒種類的消長與媒介體(蚜蟲、薊馬、粉蝨)族群的興衰息息相關，而蟲體的棲群密度又與氣候及田間微氣候緊密相關(Jones, 2009; Navas-Castillo *et al*., 2011)。近來由於冬季結霜日及日夜溫差減少，蟲體或野生寄主容易越冬，造成病毒感染源不絕於田間，病害發生也就永不斷決，此時唯有適當地調整田間管理策略，才能克服這項產業發展的限制因子。

有關病害的崛起(Anderson *et al*., 2004; Jones, 2009)，本文所列病害消長例子中並無直接數據來說明以下論點，因此有待進一步實驗證明：(1)造成新病害的病原或菌系是否全由境外入侵? (2)這些新病原或菌系能被發現，是否只是因爲改進了以往的診斷鑑定技術? (3)如何證明氣候變遷與病害消長的相關性? (4)植物相及人爲的壓力對病害消長的影響力? (5) 如何證明自然演化與篩選促使新病原或菌系崛起? (6)新病害崛起過程中，病原如何調適於其寄主及媒介體? (7)這些新菌系是否與舊菌系發生基因重組?

氣候變遷對植物病害生態的影響深遠，未來在作物病害管理層面需著重於：(1)預測及監測病原隨寄主遷移而改變的地理分佈、(2)掌控新病原崛起的病害生態，抑制新病害的發生、 (3)體會現有病害管理策略的極限和管理失策可能造成的損失、及(4)開發新管理策略以調適新環境(Coakley et al., 1999)。在作物育種則需先瞭解：(1)氣候因素所影響寄主與病原互動的各項反應、(2)病原發生時期與傳播速率可能的改變、(3)寄主原有的抗病性消失的原因、(4)新病原或菌系崛起的情形與原因、(5)目前農事操作過程可能誘導新病原或菌系崛起的機會、及(6) 作物抗逆境及抗病基因的機制與種原資料等(Agbicodo *et al*., 2009; Duveiller & Sharma, 2009; Moslonka-Lefebvre *et al*., 2011)。

引用文獻

毛青樺、呂有其、張雅君。2008。感染紅龍果之蟹爪蘭 X 病毒之特性分析與田間調查。植病會刊 17: 97-98。(論文摘要)

王智立、林正忠。2005。紅龍果果腐及仙人掌莖腐病。植病會刊 14: 269-274。

黃志隆。2008。颱風對傳染性疾病爆發影響之評估。成功大學環境醫學研究所學位論文。

黃莉欣、陳秋男。 2004。 溫度對茄葉上南黃薊馬生活史特徵之影響。 植保會刊 46: 99-111。

郭浩然。2006。氣象因子變化及異常天候對台灣地區傳染性疾病之衝擊。國科會研究報告。http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/42244

曾獻嫻、陳宗祺、黃莉欣。2009。新興瓜類 *Crinivirus* 屬病毒之診斷與鑑定。植保會刊 51 : 132。(論文摘要)

廖吉彥、鄧汀欽、胡仲祺、鄭櫻慧。2009。2008 年南部地區洋香瓜捲葉病病害發生原因之探討。植病會刊 18:77-78。(論文摘要)

蔡志濃、徐子惠、鄭秀芳、安寶貞。2011。紅龍果果實真菌性病害之調查與研究初報。植病會刊 20: (論文摘要，付印中) 。

鄧汀欽。2011。三十年來台灣瓜類病毒病害的流行趨勢演變。石憲忠、張宗仁主編「農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會」專刊: 147 -163。2011 年 7 月 15 日農試所。

謝廷芳、陳金枝、安寶貞。2009。天然災害作物復育之病害管理研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。169 pp。

Agbicodo, A. M., C. A. Fatokun, S. Muranaka, R. G. F. Visser, and C. G. van der Linden. 2009. Breeding drought tolerant cowpea: Constraints, accomplishments and future

prospects. Euphytica 167:353-370.

Anderson, P. K., A. A. Cunningham, N. G. Patel, F. J. Morales, P. R. Epstein, and P. Daszak. 2004. Emerging infectious diseases of plants: Pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. Trends Ecol. Evol. 19:535-544.

Best, R. J. 1968. Tomato spotted wilt virus. Adv. Virus Res. 13: 65-146.

Coakley, S. M., H. Scherm, and S. Chakraborty. 1999. Climate change and plant disease management. Ann. Rev. Phytopathol. 37: 399-426.

Djurle, A., B. Ekbom, and J. E. Yuen. 1996. The relationship of leaf wetness duration and disease progress of glume blotch, caused by Stagonospora nodorum, in winter wheat to standard weather data. Eur. J. Plant Pathol. 102: 9-20.

Duveiller, E., and R. C. Sharma. 2009. Genetic improvement and crop management strategies to minimize yield losses in warm non-traditional wheat growing areas due to spot blotch pathogen Cochliobolus sativus. J. Phytopathol. 157: 521-534.

Fitt, B. D. L., H. A. McCartney, and P. J. Walklate. 1989. The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. Ann. Rev. Phytopathol. 27: 241-270.

Garrett, K. A., G. A.Forbes, S. Savary, P. Skelsey, A. H. Sparks, C. Valdivia, A. H. C. van Bruggen, L. Willocquet, A. Djurle, E. Duveiller, H. Eckersten, S. Pande, C. Vera Cruz, , and J. Yuen. 2011. Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease. Plant Pathol. 60: 15-30.

Hibberd, J. M., R. Whitbread, and J. F. Farrar. 1996. Effect of elevated concentrations of CO2 on infection of barley by *Erysiphe graminis*. Physiol. Mol. Plant Pathol. 48: 37-53.

Jones, R. A. C. 2009. Plant virus emergence and evolution: origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. Virus Res. 141: 113–30.

Jyan, M. H., P. J. Ann, J. N. Tsai, S. D. Hsih, T. T. Chang, and R. F. Liou. 2004. Recent occurrence of *Phytophthora infestans* US-11 as the cause of severe late blight on potato and tomato in Taiwan. Can. J. Plant. Pathol. 26: 188-192.

Kawakami, T., and R. Suzuki. 1908. List of fungi on cultivated plants of Formosa, Part I. Bull Agric. Exp. Sta. Gov. Formosa. 1: 1-64.

Kobayashi, T., K. Ishiguro, T. Nakajima, H. Y. Kim, M. Okada, and K. Kobayashi. 2006. Effects of elevated atmospheric CO2 concentration on the infection of rice blast and sheath blight. Phytopathology 96: 425-431.

Li, Y. -S., C. -H. Mao, and Y. -C. Chang. 2010. Characterization of a new pitaya-infecting potexvirus and the construction of its infectious cDNA clone. Plant Pathol. Bull. 19: 111. (Abstract)

Liou, M. R., C. L. Hung, and R. F. Liou. 2001. First report of *Cactus virus X* on *Hylocereus undatus* (Cactaceae) in Taiwan. Plant Dis. 85: 229. (Abstract)

Magarey, R. D., G. A. Fowler, D. M. Borchert, T. B. Sutton, M. Colunga-Garcia, and J. A. Simpson. 2007. NAPPFAST: An internet system for the weather-based mapping of plant pathogens. Plant Dis. 91: 336 -345.

Moslonka-Lefebvre, M., A. Finley, I. Dorigatti, K. Dehnen-Schmutz, T. Harwood, M. J. Jeger, X. Xu, O. Holdenrieder, and M. Pautasso. 2011. Networks in plant epidemiology: From genes to landscapes, countries, and continents. Phytopathology 101:392-403.

Narváez, D. F., W. M. Jurick II, J. J. Marois, and D. L. Wright. 2010. Effects of surface wetness periods on development of soybean rust under field conditions. Plant Dis. 94: 258-264.

Navas-Castillo, J., E. Fiallo-Oliv’e, and S. S’anchez-Campos. 2011. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. Annu. Rev. Phytopathol. 2011. 49: 219–48.

Nelson, S. C. 2006. *Morinda citrifolia* (noni), ver. 4. In: Elevitch, C.R. (ed.). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii. <http://www.traditionaltree.org>.

Nicholls, N. 1997. Increased Australian wheat yield due to recent climate trends. Nature 387: 484–85.

Peng, J. -C., S. -D.Yeh, L. -H. Huang, J. -T. Li, Y. -F. Cheng, and T. -C., Chen. 2011. Emerging threat of thrips-borne Melon yellow spot virus on melon and watermelon in Taiwan. Eur. J. Plant Pathol. 130: 205-214.

Savary, S., A. Nelson, A. H. Sparks, L. Willocquet, E. Duveiller, G. Mahuku, G. Forbes, K. A. Garrett, D. Hodson, J. Padgham, S. Pande, M. Sharma, J. Yuen and A. Djurle. 2011. International agricultural research tackling the effects of global and climate changes on plant diseases in the developing world. Plant Dis. 95: 1204-1216.

Schlenkera, W. and Roberts, M. J. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. 106: 15594-15598.

Shaw, M. W. and T. M. Osborne. 2011. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. Plant Pathology 60: 31-43.

Smith, B., K. L. Ebi, O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huk, R. J. T. Klein, and G. Yohe. 2001. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the 3rd Assessment Report of the Intergovernemental panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Zheng, Y. -X., C. -H. Huang, Y. -H. Cheng, F. -Y. Kuo, and F. -J. Jan. 2010. First report of Tomato spotted wilt virus in sweet pepper in Taiwan. Plant Dis. 94: 920. (Abstract)

Climate Change and Dynamics of Plant Diseases

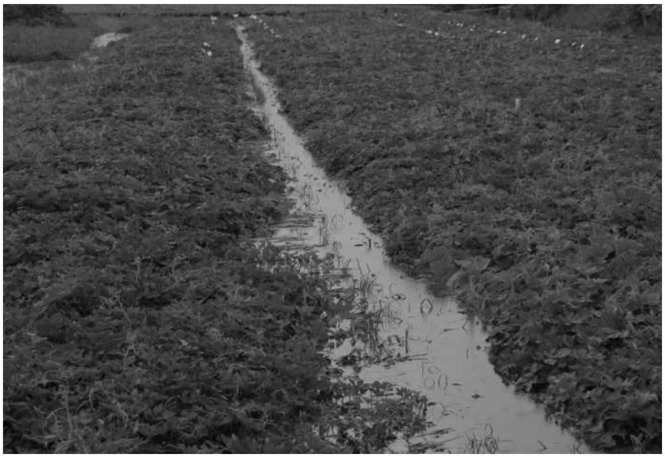
Ting-Chin Deng[1,4], Pao-Jen Ann[1], Ying-Huey Cheng[1], Tzu-Kai Lin[2], and Kuo-Szu Chiang[3]

[1] Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute
[2] Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute
[3] Department of Agronomy, National Chung Hsing University
[4] Corresponding author: E-mail: tcde@tari.gov.tw; Fax: 04-23302803

Global agro-ecosystems are directly impacted by recent climate change and that also affect the pathosystems of various crops in Taiwan. Epidemiological data revealed the extreme weather events and warming climate could influence the dynamics of plant diseases. For example, typhoon and heavy rainfall not only disseminate the pathogens but also damage plants, making the injured plants more vulnerable to attack by pathogens. In Taiwan, the most common outbreaks of diseases after typhoon are anthracnose, bacterial leaf blight of rice, bacterial soft rot, citrus canker, Fusarium wilt, *Phytophthora* rot and viral diseases. In agro-ecosystems, the increase of atmospheric temperature would raise the production of crops; yet such lavish growth of plants would also attract more or newer pests that may cause crop losses. Such as several diseases of pitaya (*Hylocereus* sp.) recently emerged in Taiwan, a severe outbreak of potato late blight occurred in Houli, and the restricted distribution of *Tomato spotted wilt virus* in high altitude areas are related to warming climates. Climate change influence the incidence and severity of plant diseases by affecting host plants, vectors, pathogens, and habitats in the pathosystems. A 30-year investigation showed that changes of trends in prevalence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan were dependent on alternations of dominated vectors and their population densities. The future adaptation for climate change affects on plant diseases and their management should emphasize on: (1) prediction and surveillance the shifts in the distributions of host and pathogen, (2) monitoring the pathosystems to control the emergence of diseases, (3) understanding the limitation of current control strategies and estimating the losses due to invalid strategy, (4) development of effective systems for successful management of plant diseases. As for crop breeding, a thorough understanding of follows in relation to climate changes is of paramount importance: (1) what changes in the host-pathogen interactions, (2) how the occurrence and transmission of pathogens alter, (3) how and why the disease resistance modify, (4) how and why new pathogens emerge, (5) whether current agricultural practice induce new pathogen, and (6) how stress- and disease-resistant gene function in crops and where are these germplasms located.

表一、2009-2010 年 *Tomato spotted wilt virus* 在仁愛、信義、埔里感染番椒之調查結果
Table 1. Incidence of *Tomato spotted wilt virus* infecting peppers in 3 locations in 2009-2010

Year	Locations		
	Renai (仁愛)	Sinyi (信義)	Puli (埔里)
2009	86.8% (178/205)	36.1% (13/36)	5.7% (4/70)
2010	32.0% (40/125)	0% (0/43)	0% (0/32)



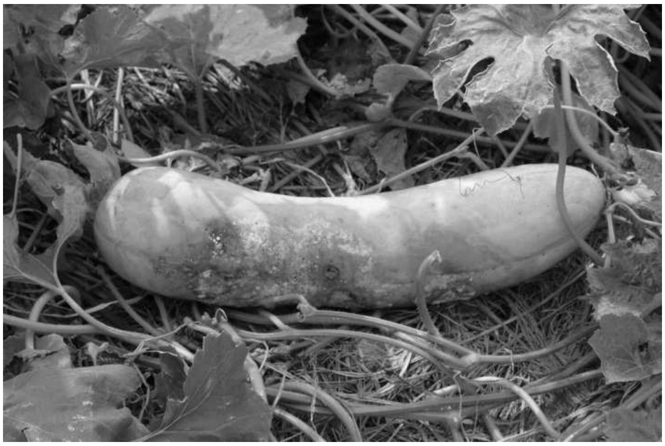


圖 1. 豪雨氾濫使病原快速大面積擴散(a)，雨後冬瓜疫病及炭疽病複合感染的病徵呈現。

Fig. 1. Heavy rainfall and flooding facilitate pathogens to disperse in a large area quickly (a); complex symptoms of anthracnose and *Phytophthora* rot showed on wax gourd after flooding (b).

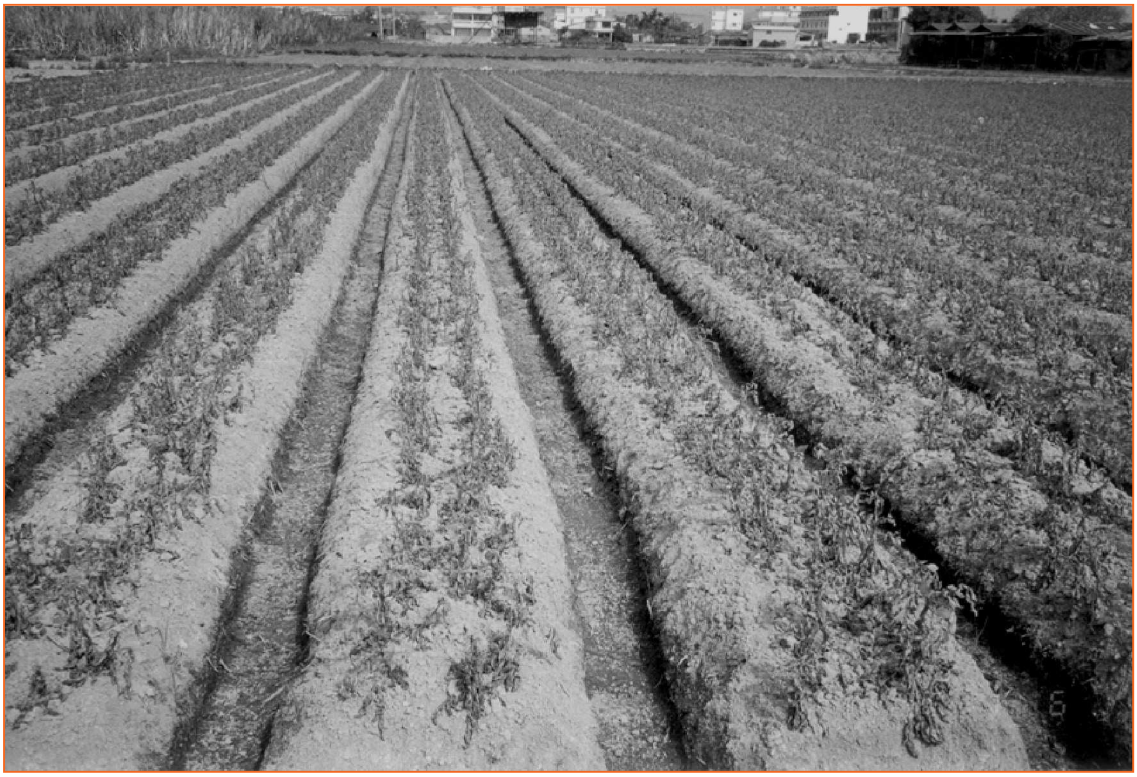


圖 2. 1997 年 12 月中下旬，后里馬鈴薯田爆發了大規模晚疫病。

Fig. 2. A severe outbreak of potato late blight occurred in Houli, in later December of 1997.

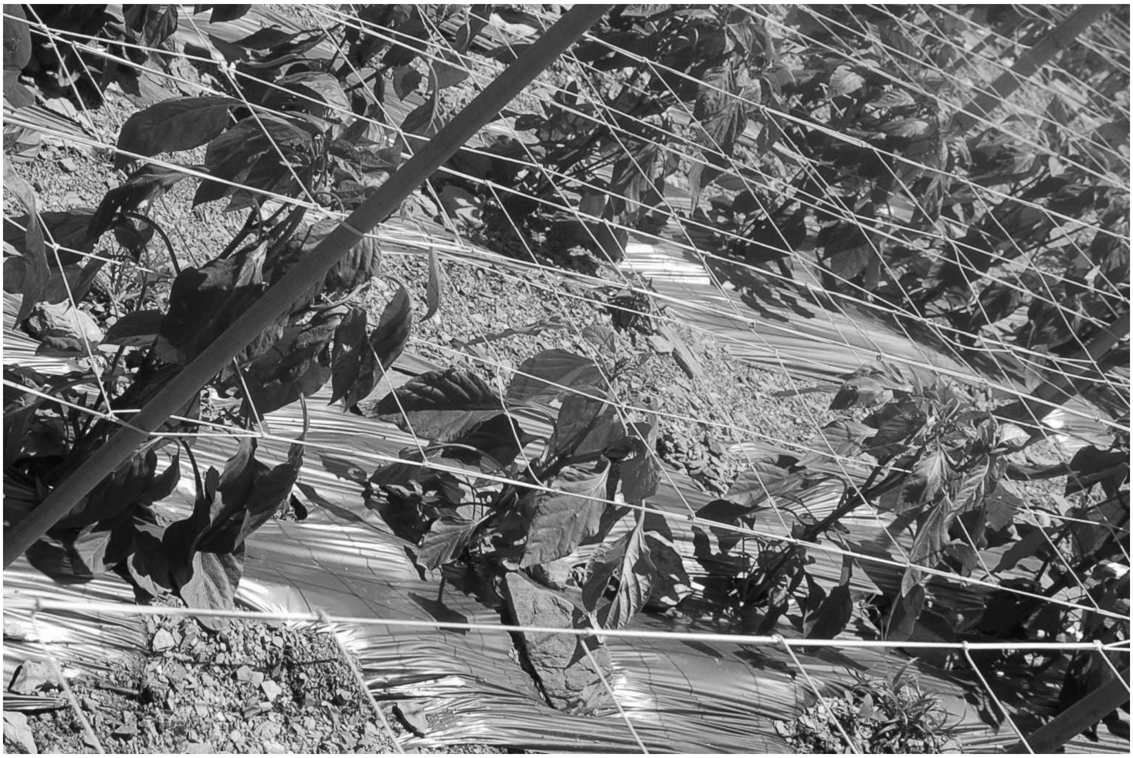


圖 3. 2009 年蕃茄斑萎病毒 (TSWV)首先在仁愛鄉感染甜椒植株所造成的病徵。

Fig. 3. Symptoms of pepper plants infected by *Tomato spotted wilt virus* in Renai in 2009.

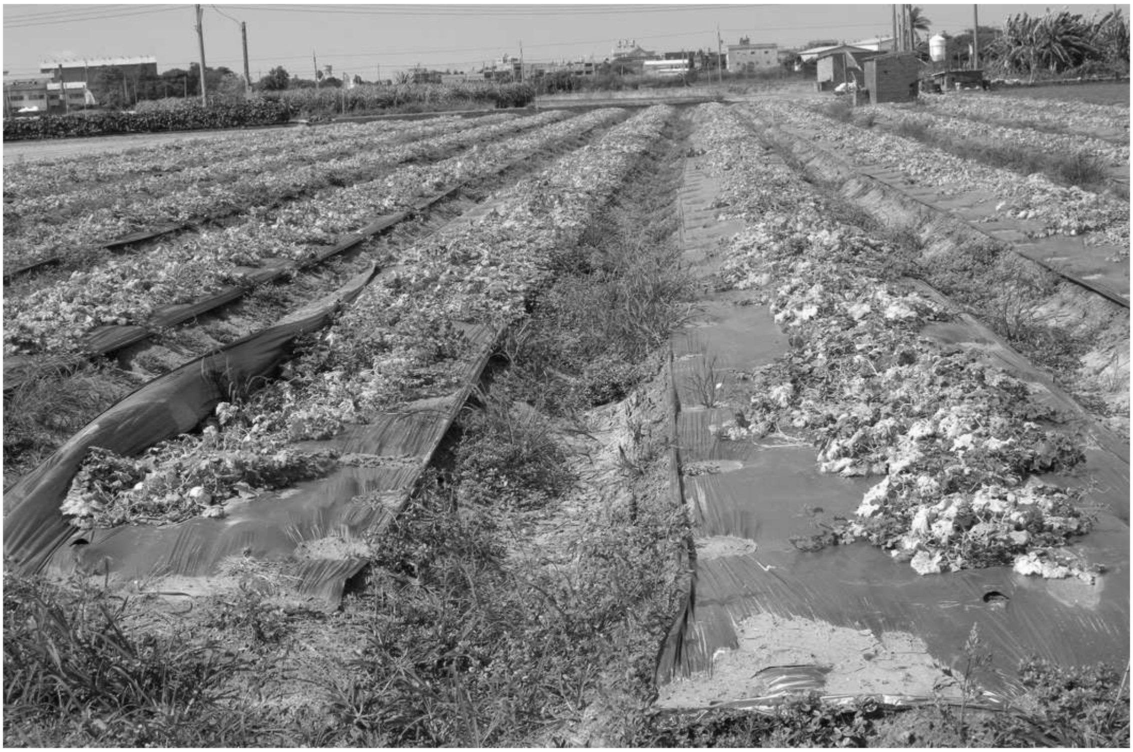


圖 4. 粉蝨傳播的瓜類退綠黃化病毒感染甜瓜植株所造成的病徵及田間疫情景象。

Fig. 4. Symptoms of melon plants infected by whitefly-transmitted *Cucurbit chlorotic yellows virus* and the field scene of epidemics.